



⑩ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 197 29 347 A 1**

⑥ Int. Cl.⁶:
G 01 B 7/30
G 01 B 7/02
G 01 D 5/24

② Aktenzeichen: 197 29 347.6
③ Anmeldetag: 9. 7. 97
④ Offenlegungstag: 14. 1. 99

⑦ Anmelder:
Gleixner, Franz, 85244 Röhrmoos, DE

⑧ Erfinder:
gleich Anmelder

⑤ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
zu ziehende Druckschriften:

DE	28 17 544 C2
DE	195 39 134 A1
DE	37 11 062 A1
DE	33 28 421 A1
DE	28 55 181 A1
DD	2 53 670 A1
EP	06 35 700 A1
EP	03 32 244 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤ Kapazitive Meßvorrichtung für Winkel oder Wege

⑥ Die Erfindung umfaßt eine Vorrichtung für absolute Winkel- oder Wegmessung, die gegeneinander isolierte Referenzelektroden aufweist, mit einem gegenüber dem oder den Statoren rotativ oder linear beweglichen mit dem Meßobjekt verbundenen Sensor, der zwei Meßelektroden aufweist, die in einem definierten Abstand zu den Referenzelektrodenflächen geführt werden, deren Potential über getrennte Koppel­elektroden auf die Eingänge eines Differenzverstärkers geführt werden. Die ergibt eine Verringerung des Einflusses von mechanischen Toleranzen und elektrischen Störungen. Zusätzlich wird eine elektronische Auswertung vorgeschlagen, bei der die einzelnen Teilspannungen summiert werden, wodurch eine höhere Auflösung und eine stetige Ausgangskennlinie erreicht wird.

DE 197 29 347 A 1

Die Erfindung umfaßt eine Vorrichtung für absolute Winkel- oder Wegmessung mit wenigstens einem Stator, der gegeneinander isolierte Referenzelektroden aufweist, mit einem gegenüber dem oder den Statoren rotativ oder linear beweglichen mit dem Meßobjekt verbundenen Sensor, der zwei Meßelektroden aufweist, die in einem definierten Abstand zu den Referenzelektrodenflächen geführt werdend mit einer Ansteuerschaltung, die an die Referenzelektroden Referenzspannungspotentiale definierter Höhe und Frequenz anlegt, und mit einer Auswerteschaltung, der die von den Sensorelektrodenflächen gewonnenen Potentiale zugeführt werden und welche diese Potentiale zur Gewinnung eines der Meßgröße proportionalen Meßsignals verarbeitet.

Eine derartige Meßvorrichtung ist beispielsweise aus DE 37 11 062 C2 bekannt. Bei dieser Präzisionsmeßvorrichtung wird ein Aufbau vorgeschlagen, bei dem eine Sensorelektrodenfläche in Form eines Kreissegments mit einem Zentriwinkel von 180° zwischen mehreren Referenzelektrodenflächen geführt wird.

In EP 0 551 066 B1 ist ein Aufbau mit einer symmetrischen Sensorfläche beschrieben, der jedoch nicht zur Absolutmessung über einen Winkelbereich von 360° geeignet ist.

Für die Messung wird in bekannter Weise ein kapazitiver Spannungsteiler verwendet. Im einfachsten Fall besteht ein kapazitiver Spannungsteiler aus einem Paar von feststehenden Kondensatorplatten und einer in geringem definierten Abstand vorbeigeführten Sensorplatte, welche zu den beiden feststehenden Kondensatorplatten eine von der Position abhängige Kapazität bildet. Auf der Sensorplatte bildet sich dadurch durch kapazitive Spannungsteilung eine Spannung aus, welche von der Speisespannung der beiden Kondensatorplatten, vom Abstand der Sensorplatte von den Referenzelektroden und von der Fläche, mit der die Sensorplatte die einzelnen Referenzplatten überdeckt, abhängig ist. Die Spannung auf der Sensorplatte ist abgesehen von den Randbereichen proportional zur überdeckten Fläche und damit zur Parallelverschiebung der Sensorelektrode gegenüber den Statorelektroden.

Für eine Winkelmessung über einen Winkel von 360° besteht die Meßvorrichtung aus mehreren feststehenden im Kreis angeordneten Kondensatorflächen und einer Sensorplatte in Form eines Ringsegments, welche mit der Welle des Meßsystems mechanisch verbunden ist und parallel zu den im Kreis angeordneten Kondensatorflächen geführt wird. Wenn auf eine einzelne Referenzelektrode eine Spannung angelegt wird, bildet sich auf der Sensorelektrode durch kapazitive Spannungsteilung eine Spannung aus, die durch das Flächenverhältnis der aktiven Referenzelektrode zu den anderen an Bezugsspannung liegenden Referenzelektroden bestimmt wird. Durch zeitliche versetzte Speisung der einzelnen Elektroden und entsprechende Auswertung der Sensorspannung läßt sich für jede Elektrode ein eigener Wert ermitteln. Die Spannungsteilerverhältnisse ergeben einzelne von der Position des Rotors abhängige Funktionen, welche eine eindeutige Zuordnung des Winkels über eine volle Umdrehung erlauben. Für die Auswertung werden wiederum mehrere Methoden vorgeschlagen.

Bei kapazitiven Spannungsteilern dieser Art ist die Führung der Sensorelektrode über den Referenzelektroden von entscheidender Bedeutung für die Genauigkeit des Meßsystems. Um eine für eine Messung ausreichende Kapazität mit linearem Verlauf zu erzielen, muß ein relativ geringer Abstand zwischen Sensorelektrode und Spannungsteilerelektroden gewählt werden. Geringe Abstandsunterschiede zwischen den einzelnen Bereichen der Stator- und Rotorelektroden bewirken eine Kapazitätsänderung und damit eine Signalveränderung, die eine Verschiebung der Meßelektrode vor täuschen. Bei Winkelsensoren tritt eine Reihe von Fehlerquellen auf: Exzentrizität, Winkelabweichungen zwischen der Achse des Rotors und dem Stator mit den feststehenden Elektroden, Unebenheiten, Teilungsfehler der feststehenden Elektroden, Ungenauigkeit der Lagerung. Eine Verbesserung wird dadurch erzielt, daß die Sensorelektrode zwischen zwei feststehenden Elektrodenflächen angeordnet wird (DE 37 11 062 Fig. 3a). Diese Anordnung hebt einige der Fehler dadurch, daß bei Abstandsdifferenzen in axialer Richtung bei einer Sollposition in der Mitte sich die Fehler weitgehend aufheben. Nicht kompensiert werden allerdings Fehler durch Exzentrizität, Teilungsfehler und radialem Schlag der Lager. Darüber hinaus ist dieser Aufbau dadurch kompliziert, daß der Rotor mit der Sensorelektrode durch den Träger für die feststehenden Referenzelektroden hindurchgeführt werden muß.

Dieser Aufbau ist auf Grund des asymmetrischen Aufbaus der Sensorelektrode relativ empfindlich gegenüber Toleranzen bezüglich der Zentrierung der Stator- und Meßelektrodenflächen, einer Winkelabweichung zwischen den Achsen des Stator- und Rotorsystems und der Abstandstoleranzen. Das heißt, daß die durch Fertigungs- und Montagetoleranzen oder durch Temperaturdehnungen bedingten Abweichungen einen großen Einfluß auf das Meßergebnis haben.

Weiterhin ist das Meßsystem empfindlich gegenüber Störeinstreuungen, die vor allem von der Welle des Sensors eingekoppelt werden können. Während die Teile des Stators mit einfachen Mitteln abgeschirmt werden können, gestaltet sich die Schirmung der Sensorfläche wegen der notwendigen beweglichen mechanischen Verbindung zum Meßobjekt schwierig. Dieses Problem tritt besonders bei Hohlwellensensoren auf, weil dort eine normalerweise metallische Welle durch den Sensor hindurchgeführt wird. Die Störungen zeigen sich vor allem, wenn die Auswerteschaltung nicht auf gleichem Potential wie die Mechanik ist, mit der das Meßsystem verbunden ist.

Für die Signalauswertung wird bisher die Auswertung der Signalamplituden im linearen Bereich der Kennlinien vorgesehen. Bei der Umschaltung von einem Kennlinienteil zum nächsten tritt hier eine Kennliniensprung auf, wenn durch Ungenauigkeiten im Aufbau oder der elektronischen Auswerteschaltung die Teilbereiche am Umschaltpunkt nicht exakt zusammenstimmen. An diesem Umschaltpunkt sind daher gehäuft Fehler zu erwarten. Um diese zu vermeiden, ist daher eine hohe Fertigungsgenauigkeit und/oder zusätzlicher Justageaufwand notwendig. Derartige Fehler lassen sich meist auch elektronisch nicht korrigieren, weil Mehrdeutigkeiten auftreten können.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, eine Positionsmeßvorrichtung für absolute Winkel- und Wegmessung der gattungsgemäßen Art derart zu verbessern, daß bei gleichen oder niedrigeren Ansprüchen an die Fertigungs- und Bauteiltoleranzen eine höhere Genauigkeit erzielt wird und gleichzeitig die Empfindlichkeit gegenüber Störeinstreuungen erheblich verringert wird.

Diese Aufgabe wird dadurch gelöst, daß bei einem Winkelsensor mit im Kreis angeordneten Referenzelektroden zwei drehbar gelagerte um 180° versetzt angeordnete Sensorelektroden von mindestens dem Zentriwinkel einer Statorelektrode vorgesehen sind, deren Potentiale über Koppel­elektroden getrennt der Auswerteschaltung zugeführt werden. In der

Auswertelektronik wird nun die Differenz zwischen den an die Koppel Elektroden übertragenen Signalen verstärkt und so verknüpft, daß ein der Winkelposition entsprechendes Meßsignal gebildet wird. Für diese Anordnung wird zusätzlich noch eine elektronische Auswertung vorgeschlagen, bei der das Problem der Übergänge zwischen den Meßbereichen vermieden wird.

Durch die Verwendung von zwei gegenüberliegenden Referenzelektroden entsteht ein Signal, das dem Mittelwert der beiden Positionen entspricht. Dadurch entsteht bei einem Fehler durch Exzentrizität an der einen Sensorelektrode z. B. eine positive, an der anderen Sensorelektrode eine ähnlich große negative Abweichung, so daß sich die Fehler bei einer Mittelwertbildung weitgehend aufheben. Bei einem einseitigen Aufbau mit doppelten Sensorelektroden ergibt sich hinsichtlich der Abhängigkeit des Meßwerts von den Fehlern in radialer Richtung ein ähnliches Verhalten wie beim beidseitigen Aufbau eines Sensors mit einer einzelnen Sensorfläche. Das System erlaubt weitere Verbesserung durch die Anordnung der Sensorelektroden beiderseits der Meßelektroden und/oder zylindrischem Aufbau.

Die Verbesserung der Störfestigkeit ergibt sich dadurch, daß die Störungen, die kapazitiv wegen unzureichender Schirmung von der Welle auf die Sensorelektroden eingekoppelt werden, bei geeigneter Gestaltung mit annähernd gleicher Intensität und Phase auf die beiden Sensorelektroden eingekoppelt werden. Wenn diese Störspannung mit annähernd gleicher Intensität an den invertierenden und den nicht invertierenden Eingang eines Differenzverstärkers gelangt, wird am Ausgang ein Signal erscheinen, das nur noch einem Bruchteil der eingekoppelten Störspannung entspricht. Für die Störfestigkeit ist das Verhältnis der Störspannung zum Nutzsignal entscheidend. Dieses wird dadurch noch weiter verbessert, daß zwei Sensorelektrodenflächen wirksam sind.

Für die Auswertung der am Differenzverstärker abgegebenen Meßspannung wird ein Verfahren vorgeschlagen, das gegenüber den bisherigen Verfahren eine höhere Auflösung und eine stetige Ausgangskennlinie garantiert. Hier wird der gesamte, auch nichtlineare Bereich der einzelnen Kennlinien mit zur Messung herangezogen und die Punkte für die Bereichsumschaltung in Teile der Kennlinie verlegt, in denen die Steigung Null ist. Durch eine Begrenzung der Kennlinie wird erreicht, daß am Umschaltspunkt ein genau vorgegebener Wert eingehalten wird.

Zur Messung von Werten läßt sich die Anordnung so treffen, daß zwei Reihen von einer Anzahl n in Meßrichtung verlaufende Referenzelektroden fest angeordnet sind, über die ein in Meßrichtung verschiebliches Sensorelement mit zwei Sensorelektroden mit der Breite von mindestens einer Referenzelektrode geführt wird, wobei jeweils eine Sensorelektrode über eine der beiden Reihen von Referenzelektroden geführt wird. Die Speisung dieser n Referenzelektrodenpaare erfolgt so, daß bei der ersten Reihe die Speisespannung $U_1 \dots U_n$ angelegt werden, während an die zweite Reihe die Spannungen $U_{n/2}, U_{n/2+1}, U_{n/2+2}, \dots, U_n, U_1, U_2, \dots, U_{n/2-1}$ angelegt werden. Über weitere an sich bekannte Koppel Elektroden werden die Signale an einen Differenzeingang eines Verstärkers geführt. Die Signale werden entsprechend ausgewertet und in ein Signal entsprechend der Position des Sensorelements umgewandelt.

Die Vorteile entsprechen denen des Winkelgebers. Einflüsse von Abstandsschwankungen auf Grund von Fehlern der Führung des Sensorelements und die Empfindlichkeit gegenüber Störeinstreuungen über den mechanischen Anschluß des Sensorelements werden verringert. Die elektronische Auswertung läßt eine gegenüber anderen kapazitiven Sensoren eine höhere Auflösung und Genauigkeit zu, weil sich der Meßwert aus einer Reihe von Meßkurven zusammensetzt und eine stetige Kennlinie erreicht wird.

Es wird noch vorgeschlagen, eine Erkennung des Anfangs- und/oder Endbereichs vorzusehen, um Mehrdeutigkeiten zu verhindern. Bei Wegmessung kann die Reihenfolge der Referenzelektroden mehrfach über den Meßweg hinweg wiederholt werden.

Das Funktionsprinzip erlaubt eine Reihe vorteilhafter Ausgestaltungen. Diese werden in der nachfolgenden Beschreibung und den zeichnerischen Darstellungen weiter ausgeführt.

In den Zeichnungen zeigen.

Fig. 1 Blockschaltbild eines Winkelsensors für absolute Winkelmessung.

Fig. 2 Ersatzschaltbild für die Anordnung nach Fig. 1.

Fig. 3 Diagramm der sich ergebenden Teilspannungen von Elektrodenpaaren über den Drehwinkel, bzw. Position, die zur Ermittlung des auszugehenden Meßwerts herangezogen werden.

Fig. 4 Diagramm der sich ergebenden Teilspannungen einzelner Elektroden und der resultierenden Differenzspannung mit und ohne Fehler.

Fig. 5 Diagramm der sich ergebenden Teilspannungen einzelner Elektrodenpaare unter Berücksichtigung der Randeffekte.

Fig. 6 Diagramm mit dem aus den einzelnen Teilspannungen gebildeten Zwischenwert.

Fig. 7 Diagramm der Bildung des endgültigen Meßwerts aus dem Zwischenwert und einem Zusatzwert.

Fig. 8 Schematische geschnittene Ansicht eines einfachen Meßwertaufnehmers für absolute Winkelmessung.

Fig. 9 Schematische Darstellung eines Sensors für Wegmessung.

Das Ausführungsbeispiel eines kapazitiven Winkelsensors ist Fig. 1 schematisch zusammen mit den für die Funktion erforderliche elektrischen Komponenten dargestellt. Die Geereinheit 1 ist in einer Draufsicht dargestellt. In einem Gehäuse 1a sind kreisförmig angeordnet isoliert Elektroden 2..7 (Referenzelektroden) in Form eines Zylinders angeordnet. Im Gehäuse 1a ist der Rotor 8 mit der Welle 9 drehbar gelagert. Auf dem Rotor sind die Sensorelektroden 10 und 11 in Form von Zylinderteilflächen mit einem Zentriwinkel von mindestens dem einer Referenzelektrode (2..7) jeweils um 180° versetzt so angeordnet, daß sie bei einer Drehung des Rotors an den Referenzelektroden 2..7 vorbeigeführt werden. Zusätzlich sind noch die zylindrischen Koppel Elektroden 12 und 13 auf dem Rotor angeordnet. Meßelektrode 10 ist mit Koppel Elektrode 12, Meßelektrode 11 mit Koppel Elektrode 13 elektrisch verbunden. Den mit dem Rotor verbundenen Koppel Elektroden 12 und 13 liegen die mit dem Gehäuse verbundenen feststehenden ebenfalls zylindrischen Koppel Elektroden 14 und 15 gegenüber. Die Koppel Elektroden 14 und 15 sind mit den Eingängen eines Differenzverstärkers 24 verbunden. Der Ausgang dieses Verstärker wird an eine Auswerteschaltung 23 geführt. Die Auswerteschaltung sorgt für die Speisung der Referenzelektroden 2..7, indem es Steuerspannungen am Anschluß 22 für die elektronischen Schalter 16..21 erzeugt, und zugleich die Höhe der Speisespannung an den elektronischen Schaltern 16..21 steuert. Der Meßwert wird über das Interface 21 vorzugsweise als Digitalwert ausgegeben.

Fig. 2 zeigt ein Ersatzschaltbild des Gebers nach Fig. 1. Dabei stellen die Kondensatoren 30, 35 die Kapazitäten dar, die durch die Meßelektrode 10, Fig. 1 gegenüber den Referenzelektroden 2, 1, Fig. 1 gebildet werden, während die Kondensatoren 36, 41 die Kapazitäten zwischen Sensorelektrode 11, Fig. 1 und den Referenzelektroden 2, 7 darstellen. Die Koppelkapazitäten 48 und 49 stellen die Kapazitäten zwischen den Zylinderflächen 12 und 14, bzw. 13 und 15 dar. Die Kapazitäten 30, 41 ändern sich abhängig von der Stellung des Rotors. Die Summe der Kapazitäten 30, 35 und die der Kapazitäten 36, 41 bleiben konstant und werden durch Fläche und Abstand der Meßelektroden 10 und 11 gegenüber den Statorelektroden 2, 7 bestimmt. Die Summen sind bei einem fehlerfreien Aufbau gleich groß. Die Spannungsquellen 42, 47 sind niederohmig. Die Koppelkapazitäten 48 und 49 sind bei geeigneter Auslegung gleich groß und unabhängig von der Winkelstellung des Gebers. Nicht dargestellt sind Kapazitäten nach Masse, welche lediglich eine gleichmäßige Verringerung aller Ausgangssignale am Eingang des Differenzverstärkers verursachen.

Die Kondensatoren 52 und 53 stellen die unerwünschte Kapazität zwischen der Welle 9 (Fig. 1) und den Sensor- und Koppellektroden 10, 11, 12 und 13 (Fig. 1) dar. Die von der Welle ausgehende Störspannung ist durch die Spannungsquelle 51 dargestellt.

Die Referenzelektroden 2, 1, 7 bilden die drei Paare 2/5, 3/6 und 4/7, die nacheinander mit Spannungsimpulsen gleicher Höhe beaufschlagt werden, wobei die Spannungen gegenüberliegender Referenzelektroden jeweils entgegengesetzt sind. Dadurch werden in den drehbar gelagerten Sensorelektroden 10 und 11 entgegengesetzte Spannungen kapazitiv eingekoppelt, die über die Koppellektroden 12, 13 und 14, 15 in den Verstärker 24 eingekoppelt werden. Dessen Ausgangsspannung wird von der Auswerteschaltung im Laufe der einzelnen Taktimpulse erfaßt. Die Umsetzung der für eine kapazitive Messung notwendigen Wechselspannungs- bzw. Impulsgrößen in Gleichspannungswerte ist Stand der Technik und wird daher nicht näher erläutert. Die den Taktimpulsen zugeordneten Spannungen lassen sich aus dem Ersatzschaltbild ableiten und ergeben für jedes Paar von Statorelektroden einen Spannungsverlauf über eine Umdrehung nach Fig. 3, welche einen idealisierten Spannungsverlauf ohne die durch Randeffekte an den Übergängen auftretenden Abrundungen darstellt. Die Kurven P1, P2 und P3 sind jeweils den Statorelektrodenpaaren 2/5, 3/6 und 3/7 zuzuordnen.

Grundsätzlich kann man sich die 3 Kurven P1, P2 und P3 aus jeweils 2 Kurvenverläufen zusammengesetzt vorstellen. In Fig. 4 ist der prinzipielle Verlauf dieser Teilspannungen für ein Referenzelektrodenpaar dargestellt. Dabei ist UP+ und UP- der Verlauf, der sich aus einem fehlerfreien Aufbau ergibt. Aus der Differenz der Werte UP+ und UP- ergibt sich der Wert UP.

Wenn nun durch einen Fehler z. B. Exzentrizität der Abstand zwischen den Referenz- und Sensorelektroden über den Umfang ungleichmäßig wird, verändert sich der Verlauf der Meßwerte der einzelnen Referenzelektroden bei geringen Fehlern so, daß der ursprüngliche Wert mit einer Sinusfunktion über den Meßwinkel moduliert wird. Es ergeben sich dann die Verläufe nach UPX+ und UPX-. Bei einem unsymmetrischen Aufbau würde nur einer dieser Werte zur Ermittlung des Meßwinkels herangezogen werden. Es ist leicht zu erkennen, daß dies zu einem erheblichen Fehler führen würde. Wenn die Differenz aus den beiden Werten UPX+ und UPX- zur Bildung des Meßwerts UPX herangezogen wird, heben sich die Fehler weitgehend auf. Dieser Wert ist in Fig. 4 durch Punkte auf dem Verlauf für UP dargestellt und zeigt nur geringe Abweichungen vom idealen Verlauf.

Ein weiteres Problem stellt sich durch Einstreuungen von Störspannungen von Seiten der Rotorwelle. Die Rotorwelle ist üblicherweise aus Stahl und daher leitfähig. Sie ragt in den Innenraum des Gebers hinein. Dadurch bildet sich eine unerwünschte Kapazität zwischen den Sensorelektroden und der Geberwelle. Die Geberwelle ist normalerweise elektrisch mit dem Gehäuse des Gebers verbunden. Dieses Gehäuse ist nicht immer auch auf dem Potential der Geberstromversorgung. Dadurch können sich der Meßspannung unerwünschte Störspannungen überlagern. Bei einer geeigneten Gestaltung nehmen beide Werte gleiche Kapazität an. Die Signalquelle 51, Fig. 2 stellt die Störspannung dar, die über die Welle eingekoppelt wird. Die Störspannung wird über die Kapazitäten 52 und 53 auf Sensor- und Koppellektroden eingekoppelt. Es läßt sich leicht erkennen, daß die Störspannungen an den Eingängen des Verstärkers 50 gleiche Werte annehmen, denn jeweils die Kapazitäten 52 und 53, 48 und 49 sowie die Summen aus den Kapazitäten 30, 35 und 36, 41 gleich sind. Wenn die Störspannung keine Spannungsdifferenz am Eingang des Differenzverstärkers erzeugt, wird sich am Ausgang des Verstärkers keine dem Nutzsignal überlagerte Störspannung zeigen.

Der Verlauf der 3 Kurven P1, P2 und P3 aus Fig. 2 ermöglicht eine eindeutige Bestimmung des Winkels über eine volle Umdrehung, einschließlich des Übergangs beim Drehen der Welle über mehr als eine Umdrehung. Dies kann beispielsweise in bekannter Weise (DE 37 11 062 C2) dadurch geschehen, daß zunächst die Werte P1, P2 und P3 miteinander verglichen werden. Aus dem Vergleich läßt sich ein Bereich ermitteln, in dem eine der 3 Kurven linear ansteigt, bzw. abfällt. Diesem Bereich wird dann ein Startwert zugeordnet. Zu diesem Startwert wird dann noch der Wert der ermittelten Kurve so addiert, bzw. subtrahiert, daß eine linear ansteigende Funktion entsteht. Diese Methode wird deshalb gewählt, weil der Kurvenverlauf in den Bereichen vor dem Erreichen des Maximal- oder Minimalwerts oder des Nullpunkts wegen der unvermeidlichen Randeffekte nicht mehr linear ist. Sie hat jedoch den Nachteil, daß bei geringfügigen Abweichungen der Werte zueinander Unstetigkeiten in der Kennlinie auftreten, weil unter Umständen beim Erreichen eines neuen Bereichs der gerade aktive Wert noch nicht den erwarteten Grenzwert zum neuen Bereich erreicht hat.

Eine vorteilhafte Möglichkeit besteht darin, daß die Werte aller 3 Kurven gleichzeitig auch im nichtlinearen Bereich zur Bildung des Meßwerts herangezogen werden. Dies ist dadurch möglich, daß sich die Randeffekte gegenseitig weitgehend aufheben. Fig. 5 zeigt eine Meßkurve mit den erkennbaren Abrundungen an den Übergängen von einem linearen Anstieg, bzw. Abfall der Kennlinie zu einem flachen Teil im Maximum, Minimum und im Nullpunkt. Wenn bei einer Drehung des Rotors die Meßelektrode eine Statorelektrode vollständig zu überdecken beginnt, wird gleichzeitig ein Bereich erreicht, der zuvor nicht von einer Meßelektrode überdeckt war. Die Randeffekte beim Eintreten in den Bereich haben einen ähnlichen Verlauf wie bei der vollständigen Überdeckung, so daß sie sich bei einer Addition zu einem linearen Verlauf ergänzen. Damit als Meßwert ein stetig ansteigender Wert aus den einzelnen Teilspannungen erzeugt werden kann, sind die Teilspannungen bei steigender Kennlinie zu addieren und bei fallender Kennlinie zu subtrahieren. Fig. 6 zeigt den Spannungsverlauf der Zwischenwerte PA1, PA2, PA3, die aus den Teilspannungen P1, P2, P3 gewonnen werden. Durch Summierung der 3 Werte PA1, PA2, PA3 entsteht ein Wert ZW. Dieser Wert verläuft linear von einem negativen Wert, der dem Minimum, bzw. dem Maximum der jeweiligen Kurve entspricht, zu einem positiven Wert, der dem

nächsten Maximum, bzw. Minimum entspricht. Danach springt der Wert auf einen gleich hohen, jedoch negativen Wert. Als Kriterium für die Erkennung der Steigung der jeweiligen Kennlinie dient der Vergleich der beiden anderen Werte. Für P1 wird P2 mit P3 verglichen usw. Für P1 z. B. gilt, daß die Kennlinie steigt, solange P2 größer als P3 ist. Diese Kriterien dienen gleichzeitig zur Auswahl eines weiteren bis zum nächsten Extremwert konstanten Werts SW Fig. 7, der so zum Wert ZW addiert wird, daß die Kennlinie stetig ansteigt.

Der Vorteil dieser Anordnung liegt darin, daß zur Verwendung des gesamten Kennlinienbereichs die Auflösung des Meßsystems doppelt so hoch ist wie bei einem System, bei dem nur Teilbereiche der Kennlinie verwendet werden.

Es läßt sich leicht erkennen, daß die Spannungswerte so aus zulegen sind, daß die Differenz zwischen Maximum und Minimum gleich dem Gesamtmeßbereich (360°) geteilt durch die Anzahl der Referenzelektroden sein muß. Ebenso muß die Höhe der Stufen der Zusatzspannung, die beim Übergang zum nächsten Bereich addiert wird, diesem Wert entsprechen.

Zur Erlangung eines genauen Meßwerts kann in bekannter Weise eine elektronische Regelung eingesetzt werden, mit welcher durch Verändern des Verstärkungsfaktors oder der Speisespannung der Referenzelektroden der Summenwert der 3 Teilspannungen so geregelt werden, daß die Extremwerte mit den theoretisch erforderlichen Werten übereinstimmen. Alternativ kann durch eine geeignete Division der Meßwert entsprechend über den Summenwert normiert werden.

Ein weiterer Vorteil dieses Verfahrens liegt darin, daß die Unstetigkeiten beim Übergang von einem Bereich zum nächsten behoben werden können. Dies geschieht dadurch, daß die Maximal- und Minimalwerte von P1, P2 und P3 geringfügig größer gehalten werden, als für die Summierung der Meßwerte zur Erreichung der Meßgrößen notwendig ist, und diese Werte auf den theoretischen Maximal- und Minimalwert (Meßbereich geteilt durch Anzahl der Statorelektroden) begrenzt werden. Damit werden eine modifizierte Kurven P1', P2' und P3' erzeugt. Diese Kurven sind stetig und haben in den Umschaltpunkten exakt den für die Summierung am Umschaltpunkt erforderlichen Wert. Dadurch wird zwar eine geringe Verfälschung der Kennlinie hervorgerufen, diese Maßnahme aber gewährleistet die Erzeugung einer stetigen Meßkurve. Daneben besteht noch die Möglichkeit, durch Regelung der Signalamplituden oder durch geeignete Divisionsverfahren am den Umkehrpunkten genau-theoretisch erforderlichen Wert zu erzielen.

Fig. 8 zeigt eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels für den mechanischen Aufbau eines erfindungsgemäßen Winkelgebers in einer einfachen Ausführung. In einem Gehäuse 54 aus einem Isolierstoff, das im Innenbereich mit einer leitfähigen Beschichtung versehen ist, ist eine Leiterplatte 56 eingesetzt, die auf ihrer Unterseite die Referenzelektroden 57, 62 und die Koppel­elektroden 64 und 65 und Schirmflächen in Form von einer gedruckten Schaltung aufweist. Diese Leiterflächen sind mit den Bauteilen der Auswerteschaltung auf der Oberseite elektrisch verbunden. Fig. 8b zeigt eine Ansicht auf die Unterseite der Leiterplatte 56. Die Flächen 57, 62 stellen die Referenzelektroden dar, welche den Elektroden 2, 7 in Fig. 1 entsprechen; die Ringe 64 und 65 sind die Koppel­elektroden entsprechend 14 und 15 Fig. 1. Die Fläche 63 dient zur Abschirmung und ist wie der leitfähige Überzug des Innenraums 63 an den elektrischen Bezugspunkt der Auswerteschaltung angeschlossen.

Im Gehäuse 54 ist der Rotor 67 mit der Welle 66 mit Hilfe des Lagers 55 drehbar gelagert. Auf der Oberfläche des Drehkörpers 67 aus Isolierstoff sind die leitfähigen Flächen 68, 70 aufgebracht. Die Flächen 68 und 69 sind die Sensorelektroden, entsprechend 10 und 11 von Fig. 1. Die Ringe 70 und 71 stellen die Koppel­elektroden (entsprechend 14, 15 in Fig. 1) dar und sind mit den Sensorelektroden 68 und 69 elektrisch verbunden. Die Sensorelektroden 68 und 69 liegen den Referenzelektroden gegenüber und bilden von der Winkelstellung des Rotors abhängige Kapazitäten mit den Statorelektroden 57, 62. Die Elektroden 70 und 71 liegen den Elektroden 64 und 65 gegenüber und übertragen die von den Referenzelektroden in die Sensorelektroden 68 und 69 eingekoppelte Meßspannung an die Auswerteschaltung.

Die dargestellte Mechanik zeigt nur eine sehr einfache Ausführung eines erfindungsgemäßen Winkelgebers. Der Vorteil dieses Aufbaus liegt darin, daß bei einem sehr einfachen mechanischen Aufbau gleiche und teilweise bessere Leistungsmerkmale erzielt werden, als bei einem Geber mit einfacher Sensorelektrode, die zwischen zwei Statorleiterplatten (DE 37 11 062, Fig. 3a, 3b) geführt wird. Weitere Verbesserungen der Genauigkeit lassen sich durch zweiseitigen Aufbau und/oder durch zylinderförmige Elektroden erreichen.

Fig. 9 zeigt in einer schematischen Darstellung eine Anordnung zur Wegmessung nach dem oben beschriebenen Verfahren. In einem Gehäuse 72, sind senkrecht stehend isoliert die Referenzelektroden 73, 80 und 81, 88 in zwei gegenüberliegenden Reihen angeordnet. Sie entsprechen den Referenzelektroden 2, 7 von Fig. 1. Da eine Sensorelektrode bei einer linearen Anordnung eine Statorelektroden im Gegensatz zur Anordnung für eine Winkelmessung nur einmal überstreichen kann, ist für jede der beiden Meße­lektroden 90, 91 eine eigene Reihe von gegenüberliegenden Statorelektroden vorgesehen. Der eigentliche Meßbereich umfaßt die Breite von 6 Referenzelektroden 74, 79, bzw. 82, 87. Die Rande­lektroden 73, 80, 81 und 88 dienen dazu, die Kennlinie so zu vervollständigen, daß sie wie eine Kennlinie eines Winkelgebers erscheint. Auf Führungselementen 97 ist der Meßschlitten 96 verschieblich gelagert. Das von der Anordnung abgegebene Meßsignal gibt die Stellung dieses Schlittens 96 gegenüber dem Gehäuse 72 wieder. Auf dem Meßschlitten 96 sind die beiden Sensorelektroden 90 und 91 gegeneinander isoliert senkrecht stehend so aufgebaut, daß sie in einem kleinen definierten Abstand an den Statorelektroden 73, 80, bzw. 81, 88 vorbeigeführt werden. Die Meße­lektrode 90 ist mit den Koppel­elektroden 92, Meße­lektrode 91 mit Koppel­elektrode 93 elektrisch verbunden. Die Koppel­elektroden 92, 93 wiederum werden parallel zu den im Gehäuse 72 isoliert senkrecht aufgebauten Koppel­elektroden 94, bzw. 95 in geringem Abstand angeordnet. Die feststehenden Koppel­elektroden 94, 95 sind mit den beiden Eingänge des Differenzverstärker 99 elektrisch verbunden. Die Statorelektroden 73, 88 werden durch die Auswerteelektronik 98 so gespeist, daß gegenüberliegende Elektroden jeweils entgegengesetzte Spannungsimpulse erhalten. Dies entspricht einem Versatz um 180° bei einem Winkelgeber nach Fig. 1. Die Tabelle zeigt das Anschlußschema der Statorelektroden

	Elektrode	73	74	75	76	77	78	79	80
5	Takt	T6	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T1A
	Elektrode	81	82	83	84	85	86	87	88
10	Takt	T3	T4	T5	T6	T1	T2	T3	T4A

Die Anordnung ergibt den gleichen Signalverlauf wie in Fig. 5. über den Meßweg und nach Umsetzung entsprechend Fig. 6 und Fig. 7 ein lineares Ausgangssignal über den Weg. Nach Überfahren der 6 Referenzelektroden springt die Kennlinie allerdings wieder auf 0. Dies ist zwar bei einer absoluten Winkelmessung erforderlich, bei einer Wegmessung würde dies zu einer unzulässigen Mehrdeutigkeit führen. Daher ist die Speisespannung der letzten Statorelektroden 80 und 88 durch eine zusätzliche Schaltung 100 und 101 so z. B. durch einen separaten Taktzyklus T1A, T4A gekennzeichnet, so daß erkannt werden kann, ob der Meßschlitten im Anfangs- oder Endbereich steht.

Patentansprüche

1. Positionsmeßeinrichtung für absolute Winkel- und Wegmessung umfassend einen kapazitiven Meßaufnehmer mit wenigstens einem Stator, der gegeneinander isolierte Referenzelektrodenflächen aufweist, und einem gegenüber dem Stator rotativ oder linear beweglichen Sensor und einer Auswerteschaltung, welche die Referenzelektroden mit für die Auswertung erforderlichen Wechselspannungen speist, das vom Geber abgegebene Signal in ein dem Winkel, bzw. Weg entsprechendes Signal umwandelt und an einen Meßausgang abgibt, dadurch gekennzeichnet, daß der Sensor zwei voneinander isolierte Meßelektroden aufweist, die jeweils einen um eine halbe Meßperiode versetzten Referenzelektrodenbereich durch kapazitive Spannungsteilung der Potentiale der jeweils gegenüberliegenden Referenzelektroden abtasten, und deren Potentiale durch zwei mit ihnen elektrisch verbundene jeweils getrennte Elektroden an gegenüberliegende mit dem Stator verbundene Elektroden kapazitiv an die Auswerteschaltung übertragen werden.
2. Positionsmeßvorrichtung für Winkelmessung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Zentriwinkel der Meßelektrodenfläche größer als der Zentriwinkel einer einzelnen Referenzelektrode ist.
3. Positionsmeßvorrichtung für Wegmessung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Breite der Meßelektrodenfläche größer als die Breite einer einzelnen Referenzelektrode ist.
4. Positionsmeßvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Zentriwinkel der Meßelektrodenfläche so klein ist, daß eine Referenzelektrodenfläche nicht gleichzeitig von beiden Meßelektroden überdeckt wird.
5. Positionsmeßvorrichtung für Wegmessung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß eine zusätzliche Einrichtung zur Erkennung des Anfangs- und Endbereichs vorgesehen ist.
6. Positionsmeßvorrichtung für Wegmessung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß über den Meßweg die Anordnung der Referenzspannungsflächen sich periodisch wiederholt.
7. Positionsmeßvorrichtung für Wegmessung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß zusätzliche Vorrichtungen zur Erkennung der Meßperiode vorgesehen werden.
8. Positionsmeßvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Spannungsdifferenz, welche sich zwischen den Meßelektroden ausbildet und über Koppелеlektroden an den Stator übertragen werden, zur Auswertung verwendet wird.
9. Positionsmeßvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Referenzelektroden durch die Auswerteschaltung so gespeist werden, daß die von einzelnen Referenzelektroden oder von einzelnen gegenüberliegenden Referenzelektrodenpaaren in die Meßelektroden übertragenen Spannungen einzeln als Teilwerte erfaßt werden können.
10. Positionsmeßvorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die einzeln erfaßten Teilwerte zu einem einzelnen Weg- oder Winkelwert dadurch zusammengefaßt werden, daß zu einem jeweils zwischen den Extremwerten der einzelnen Teilwerte konstanten vorgegebenen Wert jeder einzelne Teilwert bei über Weg oder Winkel ansteigender Kennlinie positiv und bei abfallender Kennlinie negativ so addiert wird, daß sich eine mit dem Weg oder Winkel kontinuierlich ansteigende Kennlinie ergibt.
11. Positionsmeßvorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß zur Bestimmung der Steigung der einzelnen Kennlinien wenigstens zwei andere Teilwerte miteinander verglichen werden.
12. Positionsmeßvorrichtung nach Anspruch 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Summe der Absolutwerte der Teilwerte als Bezugsmaß für die Bewertung der einzelnen Teilwerte verwendet wird.
13. Positionsmeßvorrichtung nach Anspruch 9 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Summe der Absolutwerte durch eine Regelung der Verstärkung des Eingangsverstärkers oder der Höhe der Speisespannung der Referenzelektroden konstant gehalten wird.
14. Positionsmeßvorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Höhe der Teilwerte begrenzt wird.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

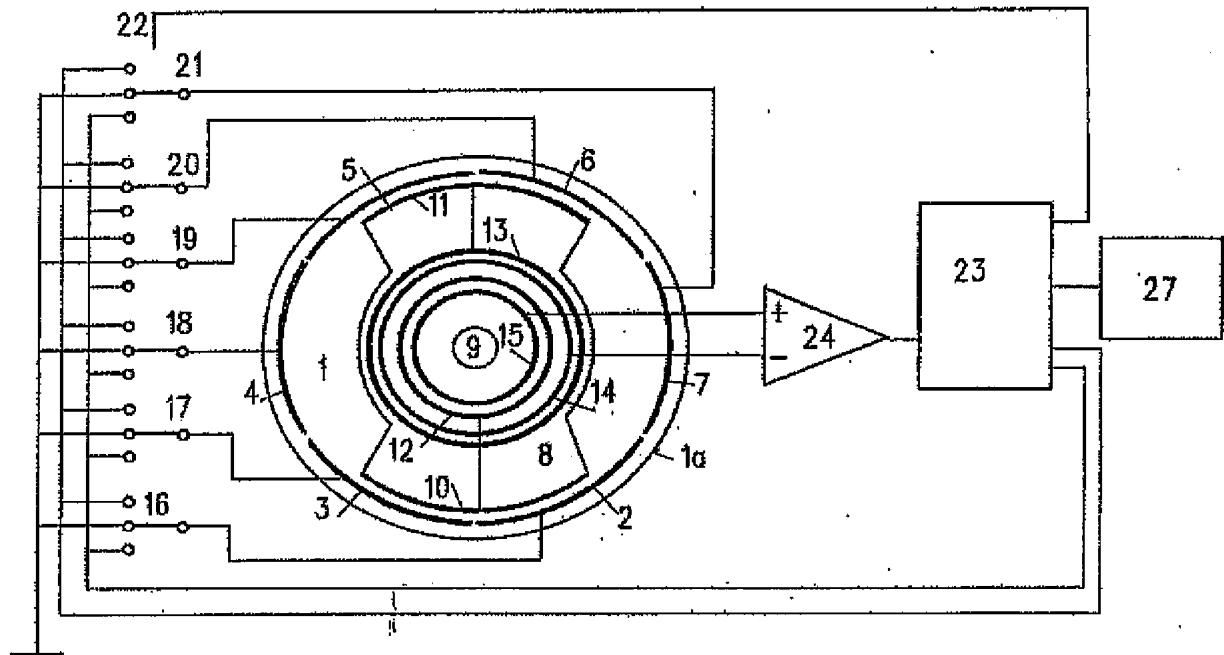


Fig. 1

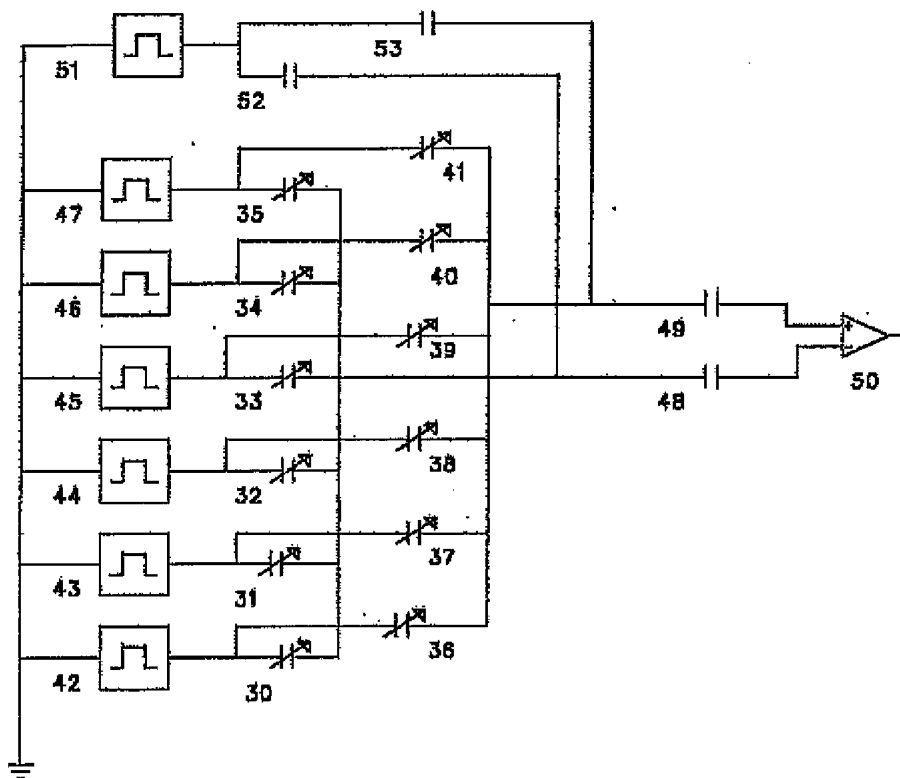


Fig. 2

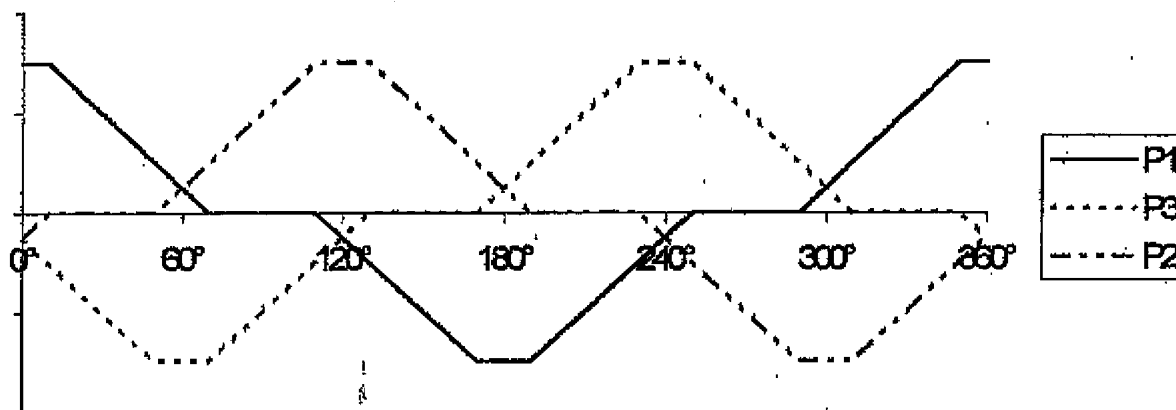


Fig. 3

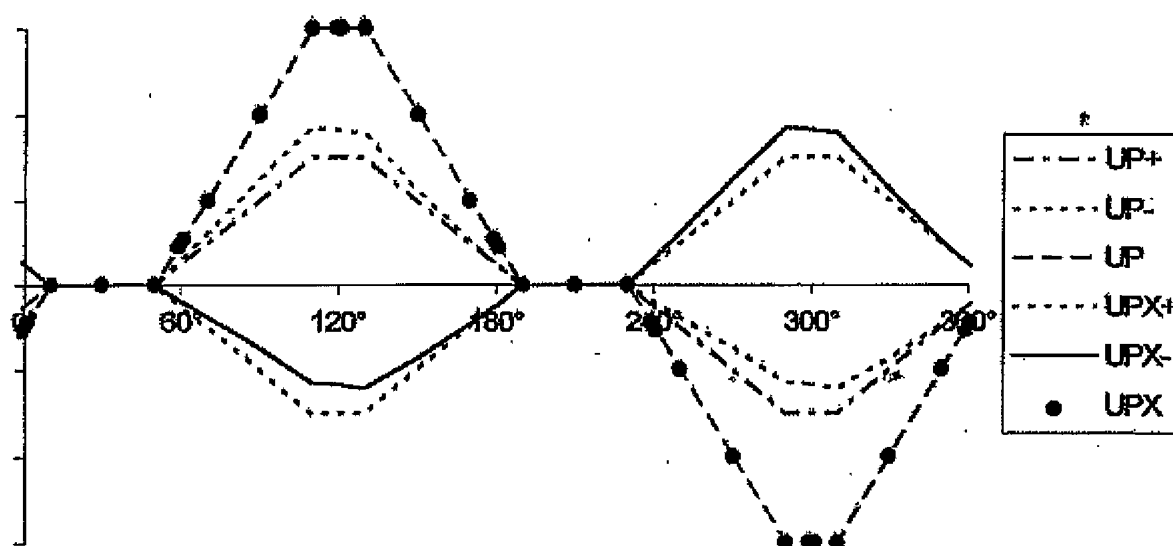


Fig. 4

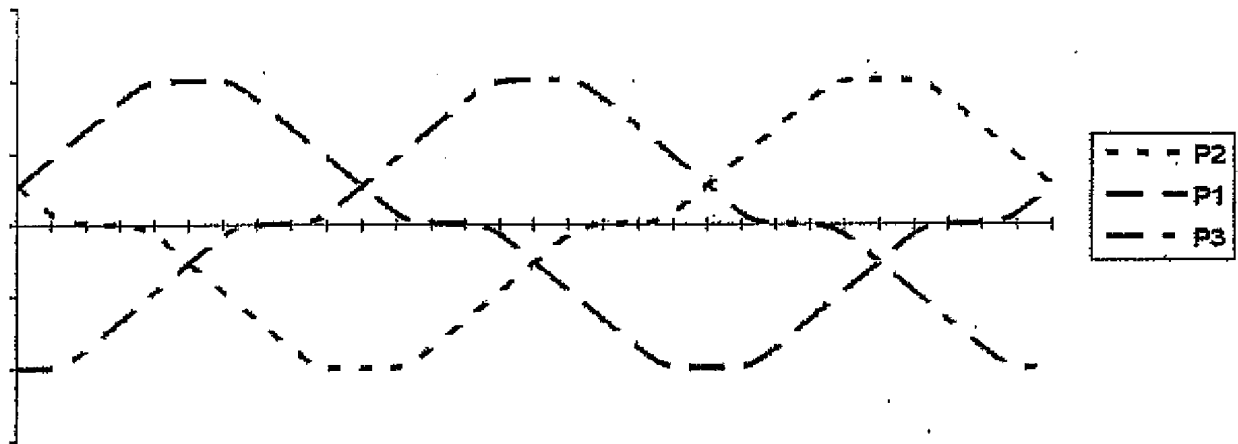


Fig. 5

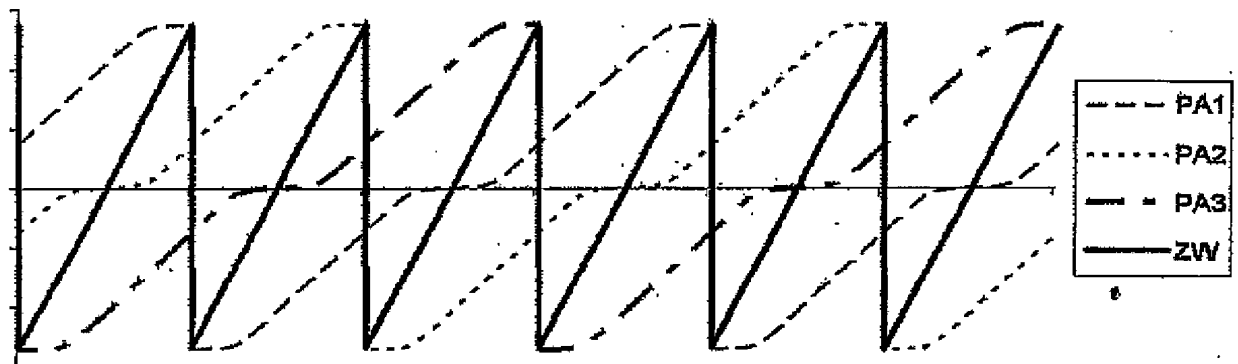


Fig. 6

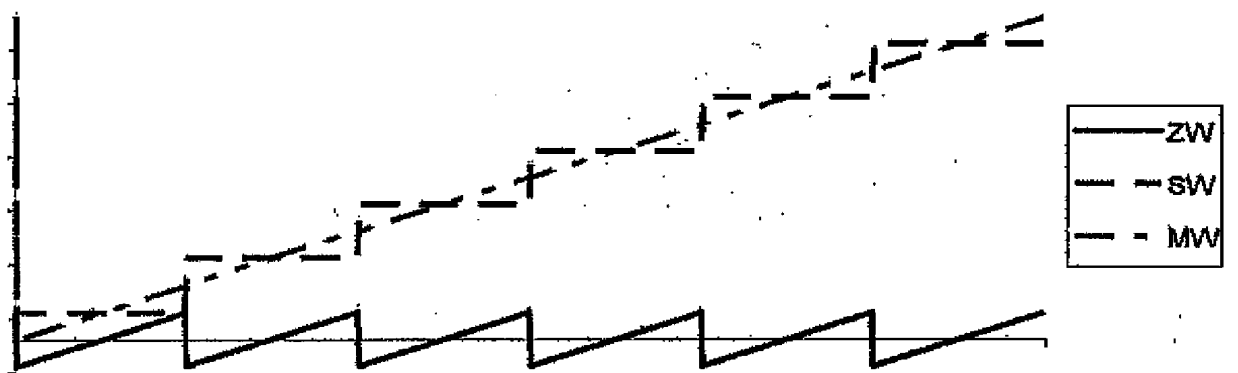


Fig. 7

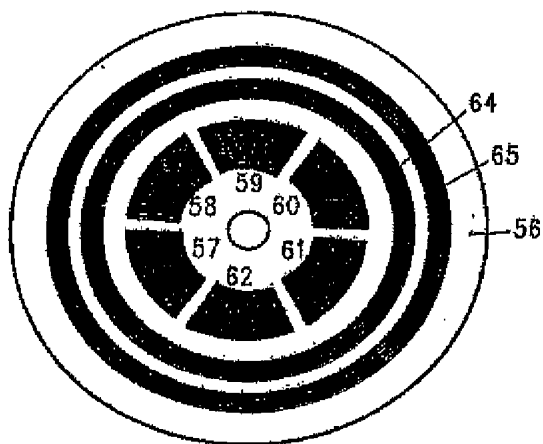


Fig. 8b

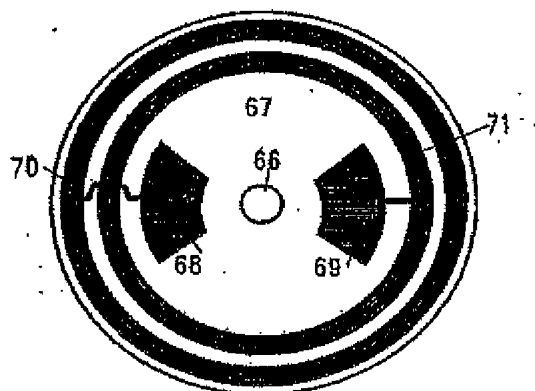


Fig. 8a

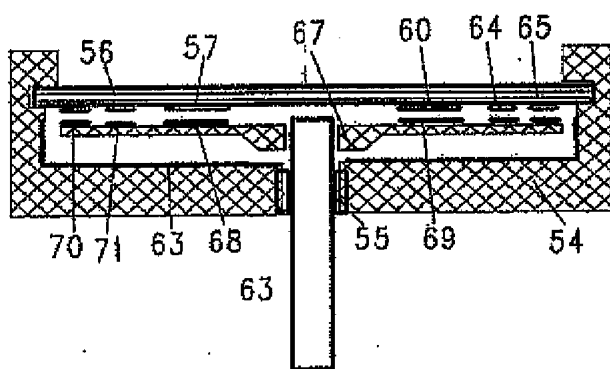


Fig. 8

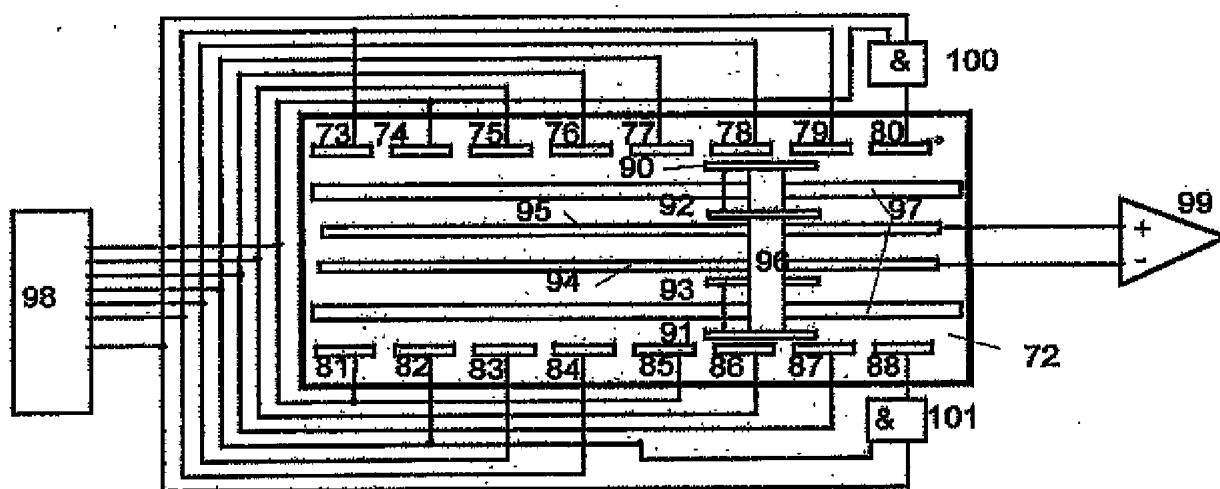


Fig. 9